

# SELECCION DEL EMPLAZAMIENTO DE CENTROS NUCLEARES

La elección del lugar en que ha de instalarse un centro nuclear es un problema que a menudo presenta un considerable interés público y para cuya solución deben tenerse en cuenta factores mucho más numerosos y mucho más diversos que cuando se trata del emplazamiento de una planta industrial de tipo corriente. En muchos casos hay que buscar una fórmula de transacción entre requisitos antagónicos. Por ejemplo, la seguridad de la población aconseja que se construyan los reactores nucleares lejos de las zonas densamente pobladas, mientras que las consideraciones económicas pueden muy bien exigir que una central nucleoelectrónica esté cerca de los consumidores para que así se reduzcan al mínimo los gastos de transmisión de la energía; por otra parte, hay razones administrativas o de organización que aconsejan que los centros de investigaciones nucleares se hallen en las inmediaciones de un centro docente o de sus instalaciones auxiliares.

Además, hay otros muchos factores geológicos y técnicos que hacen que un emplazamiento sea o no sea adecuado para construir un centro nuclear. El problema se complica aún más en ocasiones a causa de la existencia de determinados factores locales, por lo que la elección definitiva constituye una labor compleja y delicada. Esto plantea la evidente necesidad de formular criterios generales que no sólo ayuden a determinar el valor de los emplazamientos sino que sirvan también para convencer a la opinión pública de que la selección de un emplazamiento no se hace arbitrariamente sino guiándose por el cálculo científico de las ventajas y de las desventajas que ofrece.

Ciento veinte hombres de ciencia de 12 países y de cinco organizaciones internacionales se reunieron en el simposio organizado por el OIEA en Bombay del 11 al 15 de marzo para examinar los criterios de selección de emplazamientos para la construcción de reactores y centros de investigación nucleares. Como dijo en la apertura de la reunión el Director General Adjunto de Actividades Técnicas del Organismo, Sr. Pierre Balligand, el simposio se organizó atendiendo a dos consideraciones principales. En primer lugar, algunos países adelantados poseían ya gran experiencia en los problemas que plantea el emplazamiento de centros de investigaciones nucleares y de reactores de investigación, y, más recientemente, de centrales nucleoelectrónicas. Se había pensado que sería útil organizar una reunión internacional en la que pudieran cotejarse los conocimientos adquiridos y efectuar un cambio de impresiones. En segundo lugar,

muchos de los países en vías de desarrollo van a instalar centros de investigaciones nucleares y algunos están estudiando también los aspectos técnicos y económicos del empleo de reactores para producir electricidad. La elección del emplazamiento es de gran importancia en esta actividad, y los países en vías de desarrollo pueden aprovechar los conocimientos obtenidos por los países más adelantados y evitar así el tener que resolver de nuevo las mismas dificultades con que se había tropezado en las etapas iniciales.

El Sr. Balligand subrayó la importancia de tener a la opinión pública al tanto de las consecuencias de la instalación de centros nucleares, ya que una idea exagerada de los efectos que podría tener un accidente nuclear induciría a construir las centrales nucleoelectrónicas tan lejos de las zonas de consumo de energía que los aspectos económicos de la producción se verían afectados. Pero no por ello hay que subestimar las condiciones de seguridad, y el Organismo, dijo el Sr. Balligand, concederá la máxima prioridad a la seguridad de la población en el desarrollo de las operaciones atómicas.

Esta cuestión fue también puesta de relieve en otro discurso pronunciado en la sesión de apertura por el Sr. M.S. Kannamwar, Primer Ministro del Estado de Maharashtra (India), quien dijo que las reuniones de esta clase contribuían mucho a convencer a la población de que los científicos no sólo conocen los riesgos que entrañan las operaciones atómicas, sino que se ocupan activamente de encontrarles solución. En realidad, dijo el Sr. Kannamwar, una de las características más notables de la industria nuclear desde sus comienzos ha sido su tradición de seguridad, y el estudio del emplazamiento es uno de los elementos más importantes de la seguridad de una instalación nuclear. Refiriéndose a la extensa lista de cuestiones que iban a examinarse en el simposio, el Sr. Kannamwar dijo que era evidente que los científicos e ingenieros nucleares estaban estudiando todos los problemas que podía plantear la nueva tecnología. "Nada puede tranquilizar mejor a la opinión pública", dijo el Sr. Kannamwar, "que la minuciosidad con que los científicos están investigando esos problemas y la decisión que caracteriza a sus esfuerzos por encontrarles soluciones."

En la primera sesión se presentaron memorias de algunas organizaciones internacionales que se ocupan de estos problemas. Luego se estudiaron los principales factores que deben tenerse en cuenta para seleccionar el emplazamiento de un centro nuclear.



Una sesión del simposio sobre selección de emplazamiento para centros nucleares que el OIEA celebró en Bombay

El más conspicuo de estos problemas lo plantea la radiactividad que puede difundirse por la atmósfera en el curso de las operaciones normales de un centro nuclear o como consecuencia de un accidente nuclear. Las características del suelo, o sea su aptitud para la construcción de una planta nuclear y para la evacuación de desechos radiactivos, constituyen otro factor importante. También influye en la selección del emplazamiento el tipo de reactor que va a instalarse, especialmente la magnitud e índole de su confinamiento. Diversos factores administrativos y técnicos pueden influir asimismo en la elección del emplazamiento de una planta nuclear.

Después de examinar estos factores, el simposio discutió algunos criterios generales que podían seguirse en casos determinados. A continuación se informó sobre la experiencia ya adquirida en cuanto a la selección de emplazamiento para centros de investigación nuclear y centrales nucleoelectricas. La sesión de clausura se consagró a dos reuniones de grupos de expertos en las que algunos de los científicos participantes estudiaron las informaciones presentadas en el simposio y discutieron las tendencias futuras de los procedimientos y prácticas de selección.

## El medio ambiente

En una memoria presentada por E. C. Watson y C. C. Gamertsfelder (Estados Unidos) se examinaron los diversos conductos por los que pueden difundirse a través del medio ambiente las radiaciones procedentes de una planta nuclear y su posible influencia sobre los criterios de emplazamiento. Los dos conductos principales son: a) exposición a la nube radiactiva formada por las sustancias escapadas; b) exposición como consecuencia del uso de tierra, edificios o productos agrícolas contaminados por la nube

radiactiva. Dicho de otro modo, la exposición se debe a los elementos contaminantes difundidos por la atmósfera o depositados en el suelo. En el primer caso puede haber irradiación externa o sedimentación interna (por inhalación). En el segundo caso puede haber irradiación externa como resultado de la contaminación del suelo, de los edificios o de la ropa, o sedimentación interna por ingestión de verduras, agua, leche u otros productos alimenticios contaminados.

El Sr. Watson y el Sr. Gamertsfelder señalaron que en los casos de funcionamiento normal de las instalaciones de tratamiento químico y en los casos de escape accidental de radiactividad de los reactores generadores de potencia, la ingestión era la forma más importante de la exposición ambiental. "Según las características meteorológicas de un emplazamiento determinado", dijeron, "pueden quedar afectadas las actividades terrestres desarrolladas a distancias de hasta 10 y 15 kilómetros. En general, las distancias a que puede ser necesario restringir el uso de la tierra son tales que la adecuada selección del emplazamiento no basta para resolver el problema. La distancia no es un factor decisivo para reducir la exposición ambiental de los contaminantes radiactivos difundidos por la atmósfera durante las operaciones normales o en caso de accidente importante. Lo principal es el confinamiento de la radiactividad existente en el interior de la instalación".

Uno de los problemas del emplazamiento son las prolongadas exposiciones a las pequeñas cantidades de material radiactivo que se suelen escapar al medio ambiente. S. P. Binford (Estados Unidos) presentó un análisis destinado a fijar un método de cálculo del límite superior de la irradiación sufrida por inhalación en dichos casos.

En una memoria francesa (de A. Menoux y otros) se sugiere que se instale una red de estaciones de vigilancia radiológica para obtener datos sobre la radiación de fondo en el emplazamiento de un centro nuclear antes de iniciar su funcionamiento. Las mediciones de esta red permitirían confeccionar un mapa de la radiactividad de fondo del emplazamiento, mapa en el que se indicaría no sólo la radiactividad natural sino también las precipitaciones procedentes de los ensayos nucleares. El mapa sería de utilidad si hubiera que determinar la parte de responsabilidad que recae en un centro nuclear en caso de daños debidos a la radiactividad en las inmediaciones. "En principio", dijeron los autores, "disponiendo de este documento será más fácil comprobar que la utilización pacífica de la energía atómica no engendra riesgos para la población".

Los científicos franceses presentaron algunas memorias sobre la importancia del suelo para la selección del emplazamiento de un centro nuclear. En una de ellas (F. Duhamel) se señala que al seleccionar un emplazamiento debe tenerse en cuenta si es fácil

transportar, almacenar y evacuar los desechos radiactivos. Otro hombre de ciencia francés, J. Bourrier, señaló que una de las formas de tratar los efluentes radiactivos de un centro nuclear consiste en fijar los iones radiactivos filtrándolos a través de una columna de tierra; el autor discutió algunas cuestiones técnicas planteadas por este método que influyen en la selección del emplazamiento.

En una discusión general sobre el emplazamiento de las centrales nucleoelectricas desde el punto de vista de la seguridad ambiental, J. M. Smith (Estados Unidos) señaló que la experiencia adquirida durante dos decenios demostraba que las instalaciones nucleares debían construirse y explotarse con grandes garantías para la seguridad de la población. Los muros de confinamiento de las plantas debían proporcionar una protección fundamentalmente completa aun en caso de falla grave del sistema del reactor. La ubicación de la planta sólo puede influir en la seguridad del medio ambiente si además de fallar el sistema del reactor fallan también los muros de confinamiento. El Sr. Smith sugirió que se adoptase un "índice de ponderación" que diera un valor numérico a la protección de la seguridad que cabía esperar del emplazamiento de la planta. Este método supondría una mejora de los ya existentes, puesto que tenía en cuenta la importancia de las "probabilidades meteorológicas", tales como la dirección de los vientos y las condiciones de difusión en la atmósfera.

## Confinamiento e ingeniería

En una memoria sobre confinamiento y emplazamiento de reactores, V. V. Shirvaikar y A. K. Ganguly (India) señalaron que la posibilidad de contaminación debida a la radiactividad atmosférica o a las aguas que reciben efluentes radiactivos de una central nuclear, suelen obligar a emplazar los reactores a cierta distancia de las zonas muy pobladas. Puede superarse en gran medida esta dificultad confinando adecuadamente al reactor. Los autores formularon las siguientes conclusiones:

a) Los criterios de seguridad deben depender en definitiva de la cantidad probable de radiactividad que escape y de los factores meteorológicos e hidrológicos locales que determinen su dispersión; por lo tanto, no siempre es posible establecer normas generales en función de la población y de la distancia;

b) Cuando sea económicamente posible, puede dotarse a los reactores de un confinamiento adecuado que permita instalarlos en lugares de densidad de población relativamente elevada, siempre que las restantes circunstancias sean propicias;

c) En general se carece de datos micrometeorológicos relativos a los emplazamientos estudiados y hay que acopiarlos cuando las investigaciones preliminares demuestren que el emplazamiento es apto; por lo tanto, conviene calcular la magnitud del con-

finamiento con cierto margen, a fin de poder darle el valor adecuado una vez que se disponga de los datos pertinentes.

En un estudio de los sistemas de confinamiento de reactores enfriados con agua, R. O'Neil y A. R. Edwards (Reino Unido) indicaron que habitualmente no era posible obtener un confinamiento estanco para los productos de fisión suspendidos en el aire y que era preciso hallar el medio de eliminar los escapes lo antes posible. Esto podría conseguirse inmovilizando los productos de fisión o suprimiendo la presión que origina el escape, o por ambos métodos; los conocimientos actuales inducen a creer que en las fases iniciales de un accidente es preferible eliminar las diferencias de presión. El empleo de una doble estructura de confinamiento puede proteger el equipo y proporcionar un plazo de seguridad antes del escape de cantidades importantes de radiactividad en la zona de emplazamiento, plazo durante el cual podrán adoptarse medidas de urgencia.

Un científico de los Estados Unidos, W. K. Ergen, examinó métodos de confinamiento múltiple y señaló que en su país los criterios aplicados a la selección de proyectos de reactor están determinados por el deseo de precaver la contaminación de la atmósfera por el yodo radiactivo en caso de ocurrir el accidente más grave concebible (o sea el accidente del peor género que puede concebirse razonablemente). En el reactor de torio de la Consolidated Edison, el recipiente de confinamiento "tradicional" de gran solidez está rodeado por una envoltura suplementaria de hormigón. El espacio entre el recipiente y la envoltura puede mantenerse a presión negativa extrayendo el aire por los filtros, con lo cual se reducen radicalmente los escapes de yodo y se retrasa un tanto la salida de los gases nobles. Gracias a este confinamiento múltiple, el reactor puede alcanzar doble potencia que con un confinamiento de tipo normal en el mismo emplazamiento. Análogamente, el espacio entre el recipiente y la envoltura puede llenarse con hormigón poroso y los gases escapados pueden impulsarse mediante bombas hacia un recipiente de confinamiento interno de gran solidez, con lo que se impide, en principio, todo escape a la atmósfera, hasta que el efecto de la desintegración y la filtración permitan proceder a la descarga de las sustancias contaminantes. Otra forma de obtener un confinamiento múltiple consiste en rodear el sistema de descompresión con una envoltura suplementaria de confinamiento.

También se examinó la influencia de las consideraciones técnicas sobre la selección del emplazamiento. Dos científicos indios (V. N. Meckoni y R. P. Mehta) señalaron que, aparte de la consideración fundamental, que es la demanda de energía en una región, una central nucleoelectrica debe estar situada en un lugar que permita conectarla a una red de distribución integrada con un mínimo de líneas de

transmisión nuevas. Además, es imprescindible disponer de agua de refrigeración abundante. También hay que tener en cuenta otros requisitos, como buenas condiciones de cimentación, escasa profundidad de las aguas subterráneas, abundancia de fuerza motriz para la construcción, y proximidad de los centros de producción de materiales de construcción.

### Algunos criterios de selección

En una memoria sobre principios de seguridad para reactores de baja y mediana potencia, G. D. Bell y J. C. Chicken (Reino Unido) expusieron una serie de criterios e indicaron que, a condición de aplicarlos, no hay ninguna razón para no construir reactores de hasta 3 MW en lugares adecuados cerca de los distritos urbanos. Estos criterios son:

- 1) El diseño debe ser tal que resulte virtualmente imposible que aumente rápidamente la reactividad.
- 2) El reactor debe resistir a los accidentes que pueda causar el refrigerante.
- 3) Debe ser imposible cambiar los elementos centrales del combustible mientras no se hayan retirado los exteriores, y todos los elementos combustibles deben estar sujetos firmemente.
- 4) Todos los elementos combustibles deben fabricarse ateniéndose a dimensiones muy precisas. El revestimiento y el combustible deben estar unidos adecuadamente y el material fisiónable debe estar repartido uniformemente por todo el combustible.
- 5) El sistema de control debe contar con todos los dispositivos necesarios para poder interrumpir el funcionamiento del reactor en todas las circunstancias.
- 6) El instrumental debe abarcar toda la gama de operaciones del reactor, y será doble siempre que sea necesario.
- 7) El edificio destinado a alojar el reactor debe ofrecer una resistencia suficiente al escape de radiactividad y a los incendios, y debe poder descontaminarse con facilidad.

En otra memoria, G. D. Bell y F. R. Charlesworth describieron el método seguido en el Reino Unido para evaluar emplazamientos de reactores de potencia. El método se basa en los siguientes principios:

Teniendo en cuenta la composición probable de los escapes de productos de fisión y las dosis máximas de exposición para casos de emergencia, es posible calcular las distancias relativas hasta las que pueden extenderse los diversos riesgos. La inhalación de yodo radiactivo presenta el máximo peligro porque obliga a intervenir inmediatamente, mientras que la contaminación de la leche constituye el riesgo más

extendido. No es posible confeccionar una escala absoluta de riesgos para personas que viven a diferentes distancias del emplazamiento de un reactor. Lo único que puede hacerse es clasificar a los emplazamientos en una escala relativa, teniendo en cuenta la composición de los posibles escapes, la índole del riesgo, y un peligro general, que es el de que las personas que viven en las inmediaciones del reactor pueden verse afectadas por escapes de mayor o menor importancia de productos de fisión en una gran diversidad de circunstancias atmosféricas. A distancias mayores las consecuencias nocivas sólo pueden producirse cuando hay un escape de grandes proporciones en condiciones atmosféricas desfavorables. Por tanto, al evaluar los riesgos es razonable atribuir mayor importancia a la población que vive en las inmediaciones de los lugares en que hay reactores.

Con tal fin, se ha establecido un factor de ponderación para la población, que es función de la distancia y varía con el cuadrado de las concentraciones del aire. Así se pueden comparar las condiciones de los emplazamientos, calculando la suma del número de habitantes multiplicado por el factor de ponderación correspondiente. Se considera a la población distribuida en sectores de 30 grados, divididos en zonas por arcos trazados a intervalos de una milla. Después se multiplica la población de cada zona por el factor de ponderación correspondiente a dicha zona y, por último, se suman todos los productos correspondientes a un sector. El valor más elevado así obtenido constituye el índice de aptitud del emplazamiento. (Debe concederse una atención especial a la zona contigua al emplazamiento, por lo que se considera por separado a la población que reside en un radio de una milla.)

No obstante, el Sr. Bell y el Sr. Charlesworth señalaron que las condiciones de emplazamiento calculadas por este método no pueden constituir el único criterio para evaluar la seguridad de un lugar. Otros diversos factores, que no pueden expresarse fácilmente en términos numéricos, influirían en la evaluación; por ejemplo, las características peculiares de la distribución demográfica, el aprovechamiento de la tierra y las condiciones geográficas y meteorológicas locales.

### Experiencia relativa a los emplazamientos

Científicos de diferentes países informaron en las dos últimas sesiones plenarias del Simposio acerca de la experiencia adquirida en la selección de emplazamientos de centros de investigación nuclear y centrales nucleoelectricas.

Sobre los centros de investigación presentaron memorias científicas del Japón, de los Países Bajos y de los Estados Unidos. I. Miyanaga y T. Aoki (Japón) describieron cómo se habían evaluado las condiciones de seguridad del emplazamiento de Tokaimura, destinado a reactores de investigación, y los

criterios seguidos para el control de las radiaciones. J. Pelser y M. Bustraan (Países Bajos) reseñaron los estudios que condujeron a la selección de Petten como emplazamiento del centro de investigaciones del Reactor Centrum Nederland. Tres científicos americanos (J. R. Horan y otros) presentaron una memoria sobre la selección de emplazamientos en la National Reactor Testing Station de los Estados Unidos, mientras que N. E. Bradbury, también de los Estados Unidos, describió el laboratorio científico de los Alamos y en especial las características de su emplazamiento aislado.

En la sesión dedicada a las centrales nucleoelectricas, F. Faux y G. N. Stone (Reino Unido) explicaron cómo se habían diseñado y emplazado las centrales nucleoelectricas de la Central Electricity Generating Board del Reino Unido. Dijeron que en la actualidad las centrales suelen instalarse en zonas alejadas de los principales yacimientos carboníferos y que todas, menos una, están situada en estuarios o en la costa. La elección del emplazamiento está condicionada además por las necesidades técnicas y por la práctica que consiste en seleccionar lugares relativamente alejados de las poblaciones.

M. N. Chakravarti y M. R. Srivasan describieron los estudios que condujeron a seleccionar Tarapur como lugar de emplazamiento de la primera central nucleoelectrica de la India, mientras que dos científicos franceses (G. Lamiral y A. Combe) resumieron en una memoria algunos de los datos relativos a la selección del emplazamiento de la central nucleoelectrica de Chinon (Francia).

L. Carlbohm (Suecia) indicó que, aunque los criterios de selección aplicados en Suecia son similares a los que se siguen en otros países, en su país se presentan situaciones relativamente especiales; por ejemplo, ha habido que buscar emplazamiento para un reactor destinado a proporcionar calefacción por sectores, y se han utilizado construcciones subterráneas para alojamiento de reactores.

## Opiniones de organismos internacionales

Con anterioridad a esto, los representantes de tres organizaciones internacionales habían presentado memorias sobre determinados aspectos del problema del emplazamiento.

El Sr. S. Halter (OMS) sostuvo que la labor de protección de la salud pública debía estar bajo la dirección de "aquellas organizaciones existentes a las que, por su índole, les incumbe la responsabilidad en materia de salud pública", y enumeró las tareas de selección de emplazamientos de centros nucleares de que deben ocuparse las autoridades sanitarias. Dijo lo siguiente: "La OMS espera que los países que inician la ejecución de programas nucleares permitan que las autoridades sanitarias participen en esas ac-

tividades desde el comienzo de la ejecución de dichos programas".

En una memoria relativa a la influencia de la agricultura en el emplazamiento de centros de energía atómica, el Sr. G. Wortley (FAO) dijo que, aunque en ciertas zonas era posible encontrar emplazamientos que estaban sin utilizar para fines agrícolas, en muchos países no había más remedio que situar los centros atómicos cerca de tierras cultivadas. Por tanto, es importante estudiar las medidas que deben adoptarse para proteger los intereses agrícolas contra los efectos nocivos. Refiriéndose a la tradición de seguridad que impera en la industria nuclear, el Sr. Wortley sacó la conclusión de que la agricultura tenía poco que temer y mucho que ganar con el desarrollo floreciente de la industria de la energía atómica, si como hasta ahora se siguen los planes actuales, que son acertados.

En una memoria sobre las consecuencias que la selección de emplazamientos de centros nucleares puede tener en la evacuación de desechos radiactivos, J. F. Honstead y J. Beranek (OIEA) dijeron que, en general, la selección del emplazamiento se determinaba por criterios distintos de la factibilidad de la evacuación de desechos radiactivos, pero que la decisión podía ejercer una influencia considerable sobre el problema de los desechos y en especial sobre el coste de las operaciones de evacuación. "Para mantener al mínimo el coste de la evacuación de desechos radiactivos", dijeron, "hay que tener bien presente lo mucho que las características del emplazamiento repercuten en el presupuesto". Cada una de las tres soluciones dadas al problema de la evacuación de los desechos radiactivos -el confinamiento absoluto, el período de almacenamiento para permitir la desintegración radiactiva, y la dispersión de los desechos de baja actividad en el medio ambiente- se ha visto afectada en cierto modo por las características del emplazamiento, por lo que un sistema adecuado de evacuación de desechos debe basarse en un estudio de estas características.

En su discurso de clausura del simposio, el Sr. Balligand dijo que la reunión había confirmado la impresión de que, desde el punto de vista de la salud pública, la seguridad de los emplazamientos nucleares recibía la debida atención en el mundo entero. El simposio había brindado la oportunidad de efectuar un cambio de impresiones sobre la experiencia adquirida y las prácticas seguidas, así como de ideas sobre la formulación de criterios de aplicación más amplios que los actuales. Una vez que se hayan estudiado con detenimiento los trabajos del simposio, el OIEA podrá formular recomendaciones que se someterán primero a un pequeño grupo de expertos y se publicarán después como documento del Organismo. El Sr. Balligand subrayó que, antes de que puedan elaborarse normas de alcance universal, la tarea principal consistirá en acopiar la mayor cantidad posible de información y en estudiar casos particulares con ayuda de pequeños

grupos de expertos. El Organismo, señaló, ha organizado ya grupos de expertos de esa índole para ase-

sorar sobre problemas concretos a petición de los Estados Miembros.

## LA ENERGIA NUCLEAR EN LA LUCHA CONTRA LAS PLAGAS DE INSECTOS

En el espacio de poco más de dos años y medio, el Organismo Internacional de Energía Atómica ha convocado dos simposios científicos sobre la utilización de la energía nuclear en la lucha contra las plagas de insectos. El segundo -que trató del empleo y las aplicaciones de los radioisótopos y las radiaciones en la lucha contra los insectos dañinos para las plantas y animales, y se celebró en Atenas en abril pasado, siendo organizado conjuntamente por el OIEA y la FAO en cooperación con el Gobierno griego- confirmó aún más claramente que la primera reunión (Bombay, diciembre de 1960) que la energía nuclear constituye un medio sólidamente establecido en la lucha para preservar los recursos alimenticios del hombre.

Sesión inaugural del simposio de Atenas: (de izquierdo a derecha) Dr. C. Logothetis (FAO); Excmo. Sr. D. Vourdoubas, Ministro de Agricultura de Grecia; Profesor A.N. Rylov, Director General Adjunto del Departamento de Formación e Información Técnica del OIEA; Profesor G. Pantazis, Vicepresidente de la Comisión de Energía Atómica de Grecia; y Dr. M. Fried (OIEA)



En esa lucha, la energía nuclear en forma de radioisótopos desempeña una serie de funciones diferentes que se complementan entre sí.

Para la lucha eficaz contra los insectos dañinos, o para su erradicación, es indispensable conocer su ecología, hábitos de reproducción y de alimentación, su dispersión y migración, y las relaciones insecto-planta. Las técnicas radioisotópicas, la marcación en particular, han demostrado ser un medio eficaz para esos estudios.

Entre los ejemplos más notables de la utilidad de la marcación que se citaron durante el simposio de Atenas, figuran los referidos por C. Courtois y J. Lecomte (Francia). Manifestaron que, gracias a los hábitos de intercambio de alimentos de las abejas, se había podido marcar en menos de 48 horas con oro-198 (radioisótopo de período corto) los 40 000 individuos de una colmena. Durante los cuatro o cinco días siguientes a la marcación fue posible observar el movimiento de las abejas marcadas.

A continuación se indican algunos resultados obtenidos por especialistas franceses. Por regla general, las obreras no se alejan más de un kilómetro de la colmena; la mayoría de las abejas marcadas se capturaron dentro de un radio de 600 metros. No buscan alimentos al azar, sino que siguen itinerarios bien definidos determinados por la topografía, la vegetación y otros factores. Al regresar con el alimento, las obreras tienden a depositarlo en el centro de la colmena, donde suele estar la reina. Desde allí se distribuye a los demás habitantes de la colmena situados cerca de la periferia. Las investigaciones efectuadas con fósforo-32 han puesto de manifiesto que los zánganos son hasta cierto punto capaces de alimentarse por sí mismos, pero prefieren ser alimentados por las obreras siempre que éstas se hallan presentes. La reina cede alimento a las obreras, pero sólo a un número muy reducido (unas dos docenas) de obreras especializadas.

El oro-198 se ha empleado también para investigar los hábitos de las hormigas. El resultado más